





АКАДЕМСКЕ БЕСЕДЕ

Књига I

SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS

PRESIDENCY

ACADEMIC SPEECHES

Volume 1

Accepted on October 20th 2016, at the 7th meeting of the
SASA Presidency

Editor

academician
MIRO VUKSANOVIĆ

BELGRADE
2016

СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

ПРЕДСЕДНИШТВО

АКАДЕМСКЕ БЕСЕДЕ

Књига 1

Примљено на VII седници Председништва САНУ
од 20. октобра 2016. године

Уредник

академик
МИРО ВУКСАНОВИЋ

БЕОГРАД
2016

SASA PRESIDENCY

academician Vladimir S. Kostić,
President of SASA

academician Zoran V. Popović,
Vice President of SASA for Natural Sciences

academician Ljubomir Maksimović,
Vice President of SASA for Social Sciences

academician Marko Anđelković,
Secretary General of SASA

academician Stevan Pilipović,
President of SASA Branch in Novi SAD

academician Gradimir Milovanović,
*Secretary of the Department of Mathematics,
Physics and Geo Sciences*

academician Miroslav Gašić,
*Secretary of the Department of Chemical
and Biological Sciences*

academician Zoran Lj. Petrović,
Secretary of the Department of Technical Sciences

academician Dragan Micić,
Secretary of the Department of Medical Sciences

academician Predrag Piper,
Secretary of the Department of Language and Literature

academician Časlav Ocić,
Secretary of the Department of Social Sciences

academician Mihailo Vojvodić,
Secretary of the Department of Historical Sciences

academician Milan Lojanica,
Secretary of the Department of Fine Arts and Music

ПРЕДСЕДНИШТВО САНУ

академик Владимир С. Костић,
йредседник САНУ

академик Зоран В. Поповић,
йойййредседник САНУ за йриродне науке

академик Љубомир Максимовић,
йойййредседник САНУ за друшйвене науке

академик Марко Анђелковић,
йенерални секретйар САНУ

академик Стеван Пилиповић,
йредседник Ойранка САНУ у Новом Сагу

академик Градимир Миловановић,
*секретйар Одељења за маййемаййику,
физику и йео-науке*

академик Мирослав Гашић,
*секретйар Одељења хемијских
и биолошких наука*

академик Зоран Љ. Петровић
секретйар Одељења йтехничких наука

академик Драган Мицић,
секретйар Одељења медицинских наука

академик Предраг Пипер,
секретйар Одељења језика и књижевностйи

академик Часлав Оцић,
секретйар Одељења друшйвених наука

академик Михаило Војводић,
секретйар Одељења исйоријских наука

академик Милан Лојаница,
секретйар Одељења ликовне и музичке умейностйи

Ликовни прилози

Петар Лубарда

Наука, слика, Свечана сала САНУ
(на предњим корицама)

Мило Милуновић

Умειнос̃и, слика, Свечана сала САНУ
(на задњим корицама)

Ђорђе Јовановић

Наука и умειнос̃и, скулптура, улазни хол у САНУ
(на почетку књиге)

Младен Србиновић

Детаљи *Виѣража*, Свечана сала САНУ
(на белинама у књизи)

САДРЖАЈ

Академик Владимир С. Костић, председник САНУ	
<i>Поздравна реч</i>	15
Академик Миро Вуксановић	
<i>О ѝрисѝујним беседама</i> <i>срѝских академика</i>	17
Приступне беседе садашњих редовних чланова САНУ	29
Одељење за математику, физику и гео-науке	
Академик Миљко Сатарић	
<i>Микроѝубуле, коридори за унуѝарђелијски</i> <i>саобраћај и сиѝнализацију</i>	49
Академик Зоран Кнежевић	
<i>Quo vadis mechanica coelestis?</i>	65
Одељење хемијских и биолошких наука	
Академик Милена Стевановић	
<i>SOX ѝени: од оѝкрића до функције</i>	87
Академик Славко Ментус	
<i>Секундарни елекѝрохемијски извори енерѝије са</i> <i>инѝеркалајним елекѝродним маѝеријалима</i>	109
Одељење техничких наука	
Академик Дејан Б. Поповић	
<i>Енѝройија или неѝенѝройија: шѝа је</i> <i>уѝицало на мој развој?</i>	137

Академик Душан Теодоровић <i>Моделирање саобраћаја</i>	149
---	-----

Одељење медицинских наука

Академик Ђорђе Радак <i>Кароидна хирургија, 360 секунди самоће</i>	167
Академик Небојша Радуновић <i>Од хелије до новорођенчећа</i>	185
Академик Душица Лечић Тошевски <i>Рај и мир у исихијатрији</i>	203

Одељење језика и књижевности

Академик Јасмина Грковић-Мејдор <i>Обрасци заклињања у историјској ђерсијективи: линвистички и коинитивни увиди</i>	223
Академик Миро Вуксановић <i>Балада о најдражој речи</i>	235

Одељење друштвених наука

Академик Коста Чавошки <i>Слава и бесмртност</i>	245
Академик Часлав Оцић <i>Крај рада или ново ројство?</i>	257

Одељење историјских наука

Академик Михаило Војводић <i>Берлински конгрес – после тридесет година (српски поглед)</i>	273
---	-----

Одељење ликовне и музичке уметности

Академик Петар Омчикус <i>Изложба слика</i>	291
--	-----

Радне биографије беседника

Миљко Сатарић	299
Зоран Кнежевић	303

Милена Стевановић	309
Славко Ментус	315
Дејан Б. Поповић	321
Душан Теодоровић	327
Ђорђе Радак	333
Небојша Радуновић	339
Душица Лечић Тошевић	345
Јасмина Грковић-Мејдор	351
Миро Вуксановић	355
Коста Чавошки	359
Часлав Оцић	363
Михаило Војводић	369
Петар Омчикус	373





• Свечани скуј •

ПРИСТУПНЕ БЕСЕДЕ
 НОВОИЗАБРАНИХ РЕДОВНИХ ЧЛАНОВА
 СРПСКЕ АКАДЕМИЈЕ НАУКА И УМЕТНОСТИ

10–12. мај 2016.

ОДЕЉЕЊЕ ЗА МАТЕМАТИКУ,
ФИЗИКУ И ГЕО-НАУКЕ







Миљко Сатарић

*Микрошубуле, коридори за
унушарћелијски саобраћај и
сићнализацију*

1. Однос физике и биологије – силе одговорне за грађу и функционисање протеина

У последњих тридесетак година дошло је до значајног уплива метода савремене физике у биолошка истраживања живих ћелија, пре свега у домену протеина и ДНК. Може се безбедно рећи да су највећи продори у одређивању структуре и функције тих молекула настали употребом електронских и атомских микроскопа. Наводимо најзначајније експерименталне и теоријске методе које су дале снажан допринос развоју биологије ћелије:

- рендгенско зрачење, почев од открића спиралне структуре ДНК, па преко низа структура протеина;
- дифракција снопа спорих неутрона који се добро расејавају на свеprisутним водониковим атомима протеина;
- електронски микроскопи су дали најбоље резултате у детектовању структуре низа протеина, међу којима и тубулина и микротубула, који су тема овог приказа;
- атомски микроскоп (Atomic force microscope AFM) служи за успешно одређивање сила интеракције протеина и сила намотавања њихових терцијарних структура (protein folding). Те силе су реда пикоњутна!;
- масена спектроскопија служи за веома прецизно одређивање маса протеина;
- нуклеарна магнетна резонанција и Месбауеров ефекат се примењују за испитивање функционалне динамике протеина.

Ми смо раније дали допринос који се односи на могућу употребу Месбауеровог ефекта код нелинеарне динамике микротубула (Satarić et al., 1998).

Теоријски физички модели који налазе примену у овом домену су:

- Фокер–Планкова једначина (Fokker–Planck);
- Пуасон–Нернст–Болцманов модел (Poisson–Nernst–Boltzmann);
- Ланжвенове једначине (Langevin) и флукуационо-дисипациона теорема са стохастичком резонанцијом.

Физичке интеракције које омогућују грађу и функционалност протеина имају следећу хијерархију:

1. Ковалентна веза (2–6 eV)
 2. Водонична веза (0,2 eV)
 3. Јонска веза (15–30 meV)
 4. Ван дер Валсова веза (10–20 meV)
 5. Енергија хидрофобне силе (10 meV)
- (Све вредности су обрачунате по једној вези.)

Ковалентне везе су одговорне за структуре аминокиселина и њихово примарно повезивање у дугачке полипептидне ланце. Водоничне и јонске везе стоје у основи секундарне структуре протеина, формирања α -хеликса и β -листића.

Најслабије Ван дер Валсове и хидрофобне интеракције су одговорне за намотавање протеина до коначне терцијарне структуре (protein folding). Ковалентне силе су стога најјаче и реда су наноњутна, док најслабије хидрофобне силе имају ред величине пикоњутна.

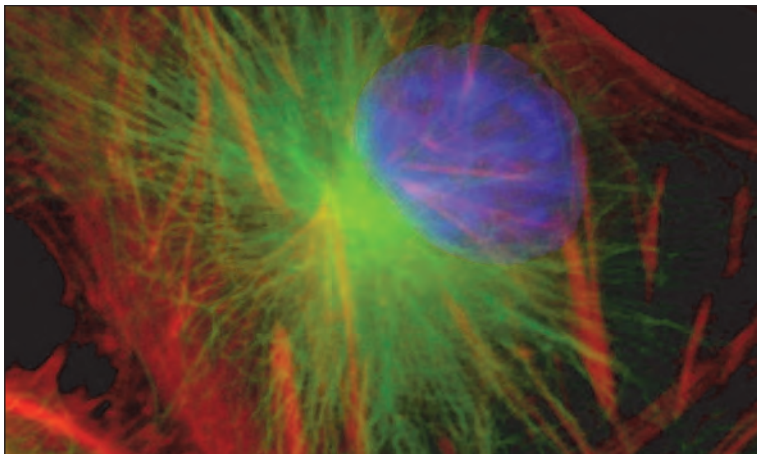
С обзиром на то да молекуларна топлотна енергија на физиолошкој температури ($T = 310\text{ K}$) износи 25 meV ($1\text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$), испада да је то исти ред величина као код две најслабије силе у наведеној хијерархији. Дакле, нековалентне везе су појединачно слабе али су колективно знатно јаче и врло су важне за функционалност протеина. Оне и чине основу концепта „прсти и рукавица“ (hand and glove) који је важан за интеракције протеина, поготову ензима.

Енергију неопходну за ћелијске процесе првенствено обезбеђује хидролиза АТФ (аденозин трифосфат) и ГТФ (гуанозин трифосфат), које респективно износе 0,5 eV и 0,25 eV.

2. Микротубуле (МТ)

Микротубуле су врло динамични полимери протеина тубулина (α и β) који се претходно фузионишу у димере, а ови

полимеризују у микротубулу. МТ су есенцијалне за ћелијску морфогенезу, деобу ћелија и унутарћелијски транспорт посредством мотор протеина, као и за ћелијску сигнализацију (Dustin, 1984).

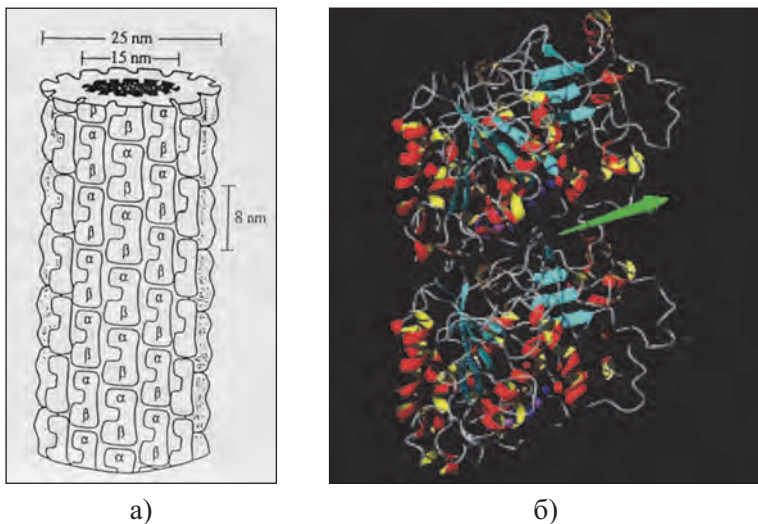


Слика 1. Деоба ћелије

На слици 1 се види густа мрежа микротубула (зелено), актин филамената (црвено) и једро ћелије (плаво) у процесу деобе ћелије, једне од најфасцинантнијих појава у космосу.

Микротубула је цевasti полимер настао полимеризацијом (α , β) димера тако да се *in vivo* скоро увек састоји од 13 паралелних протофиламената. Изглед МТ са карактеристичним димензијама је представљен на слици 2а. Спољашњи пречник је 25 nm, унутрашњи 15 nm и дужина димера је 8 nm. Тубулин димер садржи приближно 900 аминокиселина, 14.000 атома и маса му је око 110 kDa (1 Da је атомска јединица масе Dalton).

Изглед једног (α , β) хетеродимера са α -хеликсима и β -листићима, како га види електронски микроскоп, представљен је на слици 2б.



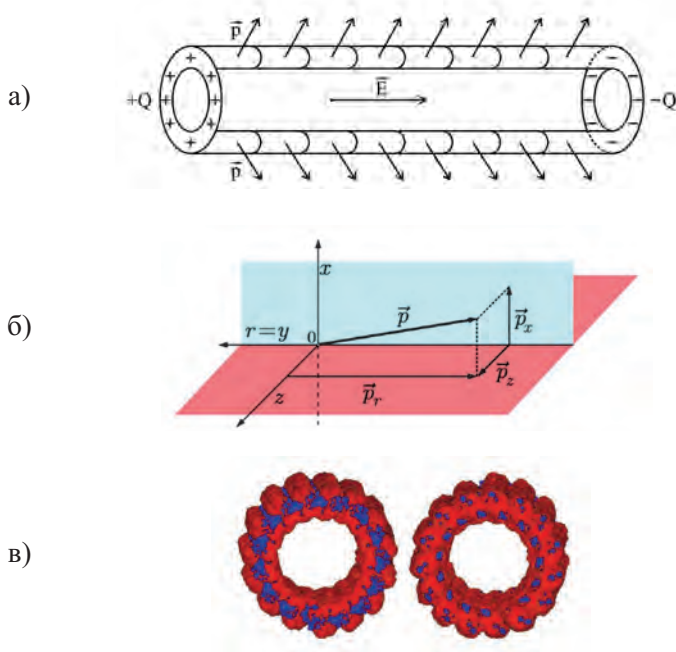
Слика 2. а) Микроиубула са карактеристичним димензијама;
 б) Овако електронски микроскоп „види“ иубулин димер
 (црвено алфа хеликс, плаво бета листићи).

Микротубуле у разним ћелијама, при разним улогама, имају дужине од реда микрометра па до милиметра (у неуронима). Њихово „време живота“ је у распону од реда минута па до дана и дуже. Оне су у процесу сталног рециклирања у чему им помажу разни ензими.

Ми смо засновали концепт по коме су МТ типични фееоелектрици, тако да сваки тубулин димер поседује значајан диполни момент P (Satarić et al., 1993, 1995, 2005).

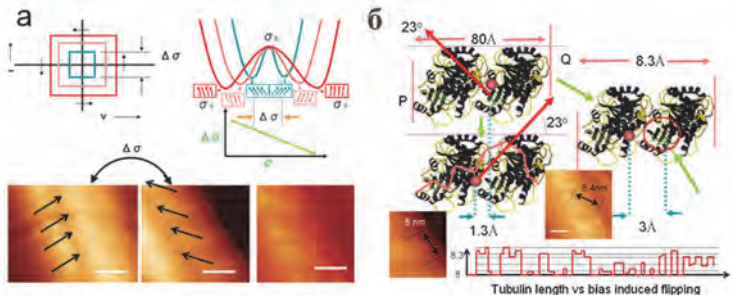
Први од ових радова је предвидео да поларизација димера доводи до појаве уграђеног резултантног електричног поља E у свакој МТ (слика 3а). Прецизни прорачун на основу банке података уз употребу програма MOLSCRIPT дао је тачне вредности пројекција диполног момента (слика 3б). Оса МТ поклапа се са x -осом.

Рад (5) је реализован на суперрачунару и он је јасно показао да један крај МТ има позитивно наелектрисање док је супротни крај негативан (слика 3в). Тиме је тај концепт добио јасну потврду. Најупечатљивија потврда ваљаности нашег фееоелектричног концепта МТ је дошла после тачно 20 година!



Слика 3. а) Микројубула са диполима и резултантним електричним пољем; б) Пројекције вектора поларизације димера; в) Површинско наелектрисање крајева микројубуле (плаво нејативно; црвено позитивно).

У експерименталном раду (Satyajit et al., 2013), помоћу скенирања појединачне МТ атомским микроскопом детектовано је постојање тих диполних момената димера и одређен је њихов интензитет и оријентација. Такође је установљена могућност побуђења кинка дипола као код сењетоелектрика. Наш рад (3) је ту наведен као прекурсор укључивши и предложени W-потенцијал одговоран за преоријентацију дипола. У свом ревијалном чланку (Hameroff, Penrose, 2014) аутори такође наводе наше радове и горњи експеримент као потпору за свој сценарио који третира микротубуле као важне учеснике у меморијским и когнитивним функцијама можданих ћелија.



Слика 4. Експериментални докази природе фероелектричне природе микротубула. Сликерице показују векторе поларизације.

3. Микротубуле и њихови мотор-протеини: унутарћелијски саобраћај

Микротубуле служе као пруге или коридори за саобраћај асоцираних мотор-протеина. То су молекуларне машине које конвертују енергију издвојену у хидролизи АТФ у механички рад. Мотори „ходају“ дуж микротубуле и вуку везикуле или органеле кроз ћелију на места где су ти састојци потребни. Интересантно је да мотор-протеин кинезин увек напредује у смеру од једра према периферији ћелије, следећи радијални

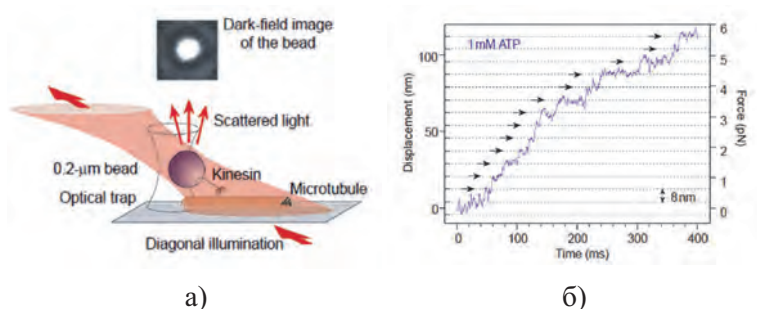


Слика 5. а) Шема глобуларне ћелије са микротубулама и моторима; б) Овако електронски микроскопски види мотор кинезин који вуче везикулу.

распоред МТ, док већи и сложенији мотор динеин увек носи товари у супротном смеру (слика 5а).

Ти мотори обављају рад појединачно или у малим групама, али тако да се међусобно не ометају. На слици 5б приказано је како кинезин (зелени човечуљак) корача дуж микротубуле обојене црвено и вуче несразмерно крупну жуту везикулу. Он при томе има корак од 8 nm (једнак дужини димера) и прави око 100 корака у секунди ако је неоптерећен. За сваки свој корак кинезин утроши један молекул АТР, енергије 0,5 eV.

На слици 6 приказано је експериментално детектовање молекула кинезина дуж МТ методом „ласерске пинцете“. Виде се кораци од 8 nm праћени термалним флукуацијама. Удаљавањем мотора он повлачи закачену куглицу а поље ласера делује као опруга на ту куглицу. Када сила ове „опруге“ досегне неких 5–6 pN, даље кретање кинезина је практично онемогућено. Тиме је одређена зауставна сила овог мотора. На слици се види да у почетку мотор иде брже, а када затезање порасте, „корача“ све спорије, до коначног заустављања.



Слика 6. а) Схематски приказ рада ласерске пинцете;
б) Померање и сила оптерећења кинезина у функцији времена.

Код функционисања мотор-протеина у контексту термодинамике уочава се упадљив парадокс. Наиме, други закон термодинамике дефинише максималну ефикасност система сагласно Карноовој формули (Carnot):

$$\eta = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} \quad (1)$$

При хидролизи АТФ локално повећање температуре износи око 3 К. На основу тога би следило да је ефикасност процеса $\eta = 0,01$, или 1%. Међутим, стварна ефикасност досеже 0,6 (60%)!

Ми смо изложили концепт за објашњење те појаве по коме се енергија ослобођена хидролизом АТФ не термализује већ је доминантно усмерена на померај контактеног „релеј-хеликса“ који реагује као „нано-клип“ (Satarić, Matsson, Tuszynski, 2006). Дакле, тај хеликс се услед пријема енергије транслаторно помери за око 3 nm уз истовремену ротацију око своје осе и тиме енергију хидролизе конвертује у покрете „корачања“ мотора дуж МТ. За опис транслационог померања хеликса коришћен је W-потенцијал, а ротација је укључена моделовањем помоћу Toda-потенцијала.

У том контексту је прорачунат Ван Ховеов фактор расејања неутрона на релеј-хеликсу и предложен је експеримент за неутронско детектовање динамике мотора кинезина.

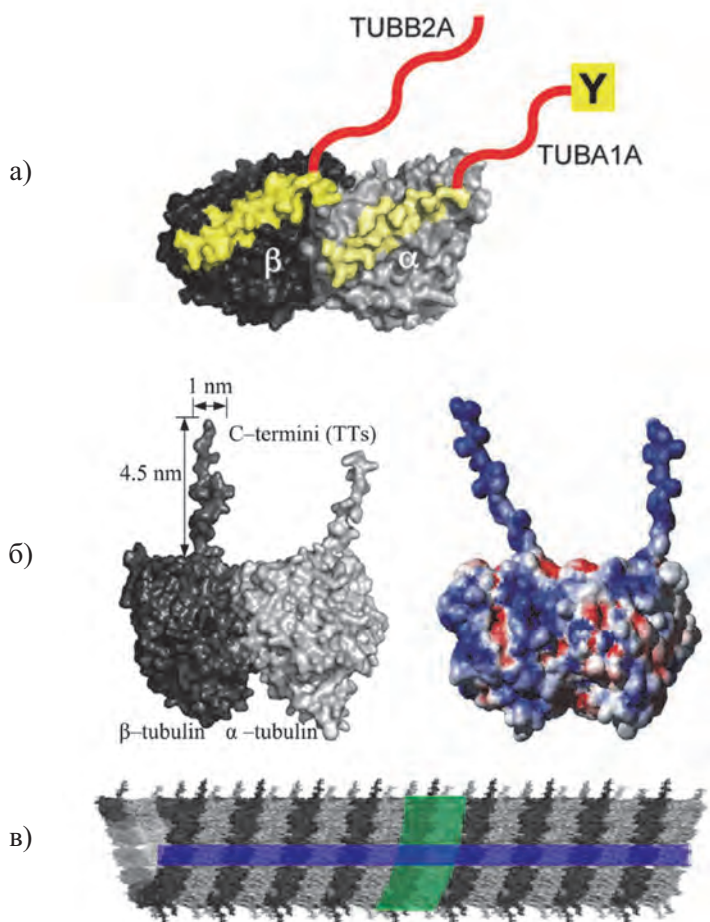
4. Микротубуле и карбоксил-тубулин-терминали (СТТ) – улога СТТ у унутарћелијској сигнализацији

Захваљујући усавршеном електронском микроскопу откривено је да поред добро дефинисаног глобуларног домена („тело тубулина“) на спољашњим површинама сваког тубулина постоји танка екстензија од низа аминокиселина са карбоксилним завршетком (Nogales et al., 2000).

На слици 7а дати су изглед МТ и увећаних тубулин димера са таквим екстензијама. Види се да се оне у извесној мери разликују за α и β тубулин. Слика 7б има означене просечне димензије тих карбоксил-тубулин-терминала (СТТ), док је на слици 7в приказан површински распоред наелектрисања целог димера, укључујући и оба СТТ. Очигледно је СТТ претежно негативно наелектрисан део. То има значајан одраз на сигнална својства микротубула о којима је овде реч.

Централно неразјашњено питање унутарћелијског транспорта је како мотори „знају“ када, куда и који товар треба да носе дуж микротубуле.

Информисање на бази дифузије је споро и неефикасно. Мора постојати адекватна комуникација и сигнализација између разних ћелијских делова (компартамана). Ми смо до сада



Слика 7. Изглед микротубуле са назначеним
СТТ и увећани димери

елаборирали два таква механизма, оба базирана на улогама које се одвијају баш уз помоћ СТТ:

а) локализовани катјонски пулсеви који се пропадају дуж микротубуле полазећи од јонских канала;

б) механо-електрични кинкови заталасаних СТТ који се простиру дуж слободних протофиламената микротубуле делујући као иницијатори адекватног транспорта.

I Први механизам

Први механизам смо базирали на чињеници да микротубуле представљају реалне полиелектролите са доминантним негативним површинским наелектрисањем. У том контексту смо показали (Satarić et al., 2011) да се МТ понашају као нелинеарне електричне транслационе линије за вођење локализованих пулсева катјона од јонских канала ка унутрашњости ћелије. На слици 8а је приказан један тубулин и његов СТТ са распоредом наелектрисања које чини да је он нано-кондензатор са променљивим капацитетом.

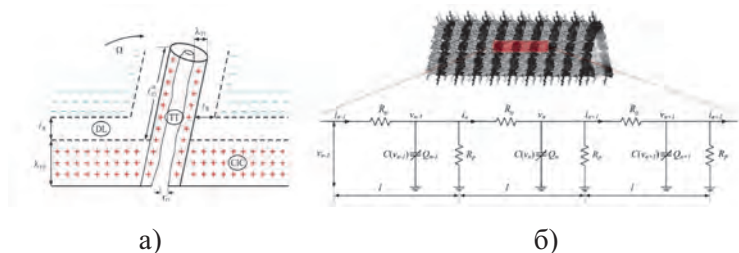
Слика 8б приказује протофиламент микротубуле репрезентован као скуп електричних елемената повезаних у серију. Ту је битан и утицај уграђеног електричног поља од дипола са слике 3.

Распоред позитивних јона који су привучени уз микротубулу у континуалној апроксимацији је описан нелинеарном диференцијалном једначином облика:

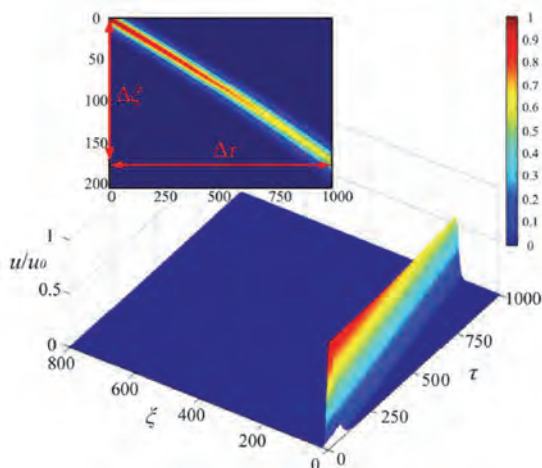
$$\frac{\partial U}{\partial \tau} + \beta \frac{\partial^3 U}{\partial \xi^3} + \alpha U \frac{\partial U}{\partial \xi} + \gamma(\xi) \frac{\partial U}{\partial \xi} + \delta U = 0 \quad (2)$$

где су ξ и τ бездимензиони дужина и време, а $U(\tau, \xi)$ је локална густина наелектрисања јона.

Нумеричко решење једначине (2) показује појаву уског локализованог пулса сличног солитону који се креће дуж микротубуле са незнатним успоравањем и благим смањивањем амплитуде. При томе достиже дистанце реда неколико микро-



Слика 8. а) Тубулин и његов СТТ као нано-кондензатор; б) Димери протофиламената као серија нелинеарних R-C кола.



Слика 9. Просторно-временска локализација локализованог пулса калцијона дуж микротубуле која је типичан полиелектролит

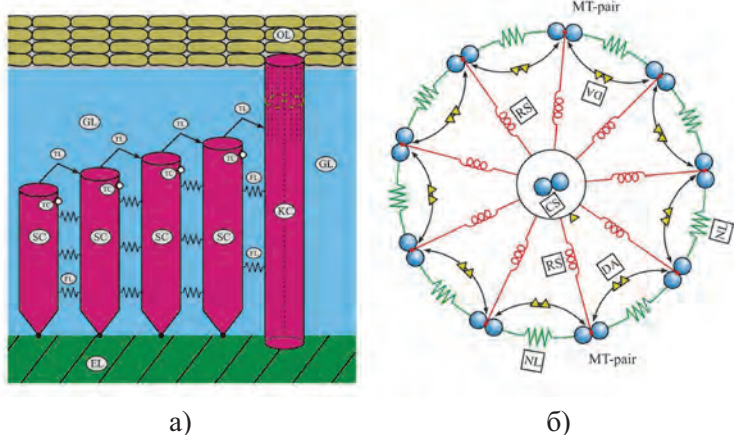
метара (слика 9). Најважнији резултат је да се брзина таквих пулсева креће у домену од милиметра у секунди до центиметра у секунди. То је знатно брже и ефикасније од дифузије чија брзина је реда микрометра у секунди.

Те особине микротубула су нашле најмаркантнију примену код аудиторних ћелија сисара. У тим ћелијама су механички сензори компоновани од цилиндричних структура званих стереоцилија и завршног најдужег дела званог киноцилија (слика 10а).

Експерименти су показали да ова структура реагује на механичко побуђење изазвано звучним таласом. Регулацију фреквентног одзива врше молекули мотор-протеина динеина. Они се налазе у киноцилији сачињеној од 9 парова микротубула које личе на затегнуте жице музичког инструмента (слика 10б).

По сценарију напред описаног механизма, звучни импулс покрене отклон стереоцилије и отвара јонске канале кроз које се у врло малим концентрацијама убацују Ca^{2+} јони. Они се у форми локализованих пулсева брзо крећу дуж МТ ангажујући динеин моторе да „стегну“ микротубуле на тим местима (Satarić et al., 2015).

То је аналогно улози коју прсти музичара обављају код жичаних инструмената, подешавајући висине тонова!



Слика 10. а) Стереоцилије и киноцилија аудијторне ћелије; б) Киноцилија појречни пресек DA – динеин мотори.

С обзиром на то да фреквенције звука које детектује човеково ухо досежу 20 килохерца, јасно је да брзина реакције динеина мора бити адекватна. То не би могла да обезбеди обична дифузија јона, док брзина пулса јона калцијума од 1 mm/s управо то омогућује.

II Други механизам регулације ћелијског саобраћаја

Најновија истраживања везана за регулацију транспорта који се дуж МТ одвија уз помоћ мотор-протеина указала су на постојање посттранслационих модификација које се догађају углавном на СТТ сегментима микротубула и играју значајну улогу у регулацији транспорта (Janke, 2014).

Испоставило се да мале измене структуре СТТ доводе до значајних разлика у функционалној динамици одговарајућих микротубула. На пример, ако СТТ од алфа тубулина има тирозин као последњи резидуум, таква МТ је врло динамична,

са временом живота од 3 до 5 минута. То је неповољно за транспорт који обавља кинезин. У таквом режиму су МТ у соматодендритским деловима нервних ћелија. Са друге стране, МТ код којих је тирозин уклоњен помоћу одговарајућег ензима много су стабилније, са временом живота око један дан, и дуж њих се одвија жив саобраћај помоћу кинезина. Такав је случај у аксонима нервних ћелија. Ми смо предвидели сценарио по коме осциловање СТТ служи као „навигатор“ који олакшава „корачање“ мотора.

Наиме, СТТ који има одговарајућу структуру формира у интеракцији са суседима двоструку потенцијалну јаму чија дубина и ширина су променљиви због осциловања СТТ. Брзина осциловања зависи од момента инерције, сопствене фреквенције и наелектрисања СТТ. Ти параметри бивају подешени посттранслационим модификацијама на начин који омогућава да динамика јаме „води кораке“ мотора чинећи да се он ретко одваја од микротубуле и брзо прогресира (Satarić et al., 13).

Литература

1. Satarić, M. V., S. Zeković, J. A. Tuszyński, J. Pokorny. “Mösbauer effect as a possible tool in detecting nonlinear excitations in microtubules”. *Physical Review E* 58 (5) 6333 (1998);
2. Dustin, P. *Microtubules*, Berlin: Springer, 1984;
3. Satarić, M. V., J. A. Tuszyński, R. B. Žakula. “Kinklike excitations as an energy-transfer mechanism in microtubules”. *Physical Review E* 48 (1) 589 (1993);
4. Tuszyński, J. A., S. Hameroff, M.V. Satarić, B. Tripisova, M.L.A. Nip. “Ferroelectric behavior in microtubule dipole lattices: implications for information processing, signaling and assembly/disassembly”. *Journal of Theoretical Biology* 174 (4) 371 (1995);
5. Tuszyński, J. A., J. A. Brown, E. Crawford, E. J. Carpenter, M. L. A. Nip, J. M. Dixon, M. V. Satarić. “Molecular dynamics simulations of tubulin structure and calculations of electrostatic properties of microtubules”. *Mathematical and Computer modeling* 41 (10), 1055 (2005);
6. Sahu, S., S. Grosh, K. Hirata, D. Fujita, A. Bandyopadhyay. “Multi-level memory – switching properties of a single brain microtubule”. *Applied Physics Letters* 102, 123701 (2013);
7. Hameroff, S., R. Penrose. “Consciousness in the universe”. *A review of the „Orch Or“ theory Physics of Life Reviews* 11, 39 (2014);

8. Satarić, M.V., J. A. Tuszynski, L. Matsson. "Complex movement of motor protein relay helix during the power stroke". *Physical Review E* 74 051092 (2006);
9. Wang, Z. and M. P. Sheetz. "The C-terminus of tubulin increases cytoplasmic dynein and kinesin processivity". *Biophysical Journal* 78, 1955 (2000);
10. Sekulić, D. L., B. M. Satarić, J. A. Tuszynski, M. V. Satarić. "Nonlinear ionic pulses along microtubules". *The European Physical Journal E* 34 (5) 1 (2011);
11. Satarić, M. V., D. L. Sekulić, B. M. Satarić, S. Zdravković. "Role of nonlinear localized Ca^{2+} pulses along microtubules in tuning the mechano-sensitivity of hair cells". *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 119 (2) 162 (2015);
12. Janke, C., "The tubulin code: Molecular components, readout mechanisms and functions". *Journal Cell Biology* 206 (4) 461 (2014);
13. Sekulić, D. B. Satarić, S. Zdravković, A. Bugay, M. Satarić. "Nonlinear dynamics of C-terminal tails in cellular microtubules", submitted in *Chaos*.